超伝導ストリップ粒子検出器と超伝導デジタル信号処理回路の開発

Development of superconducting strip particle detectors (SSPDs) and superconducting digital signal processors

○全 伸幸[1]、佐野 京佑[2]、志岐 成友[1]、藤井 剛[1]、浮辺 雅宏[1]、吉川 信行[2]、大久保 雅隆[1]
(1. 産総研、2. 横浜国大)
°Nobuyuki Zen[1], Kyosuke Sano[2], Shigetomo Shiki[1], Go Fujii[1], Masahiro Ukibe[1], Nobuyuki Yoshikawa[2], Masataka Ohkubo[1] (1.AIST, 2.YNU)
E-mail: n.zen@aist.go.jp

超伝導ストリップ粒子検出器（SSPD; Superconducting Strip Particle Detector）は、超高速性と超高感度を兼ね備えた粒子検出器であり、次世代の飛行時間型質量分析計（TOF MS; Time-Of-Flight Mass Spectrometer）の検出器として期待されている[1]。SSPD の応答速度は、超伝導ストリップ長に比例する力学インダクタンスによって決まるため、我々はストリップを並列に配置して力学インダクタンスを低減し、大面積で高速な SSPD を実現した[2,3]。しかしながら、並列に配置されたストリップの抵抗はゼロであるため、あるストリップ中を流れていたバイアス電流はイオン衝突イベントの直後に、並列ストリップに再分配されその状態が保持される。バイアス電流が大きい場合には、再分配によって全ストリップがカスケード的に常伝導転移してしまい、量子効率 100%を実現するために十分な大きさのバイアス電流を印加できない[4]。バイアス電流の再分配（すなわちカスケード常伝導転移）を抑制するため、各ストリップに有限の抵抗を直列に接続することが有効であるが、大きなバイアス電流が有限の抵抗を流れることによるジュール発熱が問題であった[5]。本研究では、バイアス電流が抵抗を流れないような検出器構造を用い、高速・大面積・量子効率 100%を兼ね備えた SSPD を実現した。

現在のところ、SSPD は膜厚 40 nm、線幅 1 μm のメアンダ状ニオブ超伝導ストリップ 10 本から構成され、並列接続により検出器面積は 2×2 mm^2 である。イオンビーム同等径（~ 1 cm）の検出面積を実現するためには、SSPD のアレイ化が必要である。しかしながら、GHz 帯の広帯域同軸ケーブルをアレイの数だけ室温から 3 K ステージまで接続すると、熱の流入によって SSPD の特性が劣化する。我々は、超伝導デジタル信号処理技術である単一磁束量子-時間デジタル変換器（SFQ-TDC; Single Flux Quantum – Time-to-Digital Converter）と SSPD を接続し、粒子の TOF 情報を 3 K の低温でデジタル信号処理することを試みた。デジタル信号を室温まで伝送するためには MHz 帯のケーブルで十分であり、SSPD のアレイ化が可能になる。

[1]K. Suzuki, *et al.*, Appl. Phys. Express **1**, 031702 (2008).
[2]A. Casaburi, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **94**, 212502 (2009).
[3]N. Zen, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **95**, 172508 (2009).
[4]N. Zen, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **104**, 012601 (2014).
[5]N. Zen, *et al.*, Chin. Phys. B, in press.

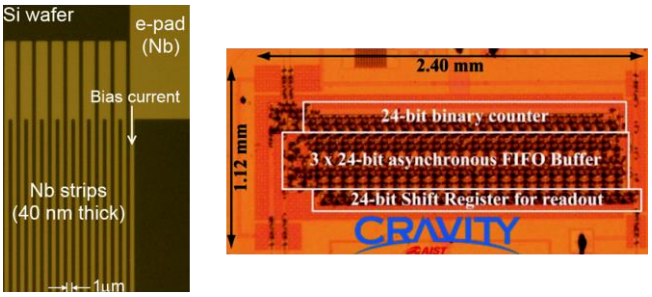

図. SSPD（左）と SFQ-TDC（右）の顕微鏡写真

© 2015年 応用物理学会